

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-214503

(43)Date of publication of application : 04.08.2000

(51)Int.Cl.

G02F 1/35  
H01S 3/30  
H04B 10/17  
H04B 10/16  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21)Application number : 2000-009590

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 19.01.2000

(72)Inventor : STENTZ ANDREW J  
WALKER KENNETH LEE

(30)Priority

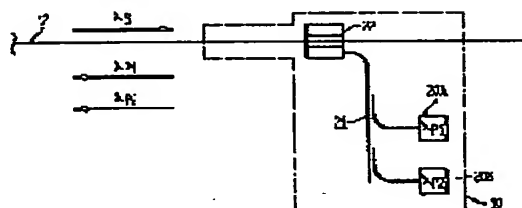
Priority number : 99 233318 Priority date : 19.01.1999 Priority country : US

## (54) OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM USING HIGH ORDER RAMAN AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a low noise, a long fiber span and low nonlinearity by providing one or plural high order dispersion Raman effect amplifiers on a poststage of a light source.

SOLUTION: Plural Raman amplifiers 10 are provided on the poststage of a signal light source along a transmission line 12 over the whole length of the transmission line 12. The amplifier 10 is preferred to be provided on an end part of a middle of a continuous fiber segment. The usual high order Raman amplifier 10 is constituted of one or above of Raman pump light source 20A and one or above of secondary Raman pump light source 20B. The light sources 20A, 20B are usually semiconductor lasers connected with a thing such as a connector transmission line segment 21. These are connected in the fiber transmission lines 12 by a wavelength division multiplexing device 22. This advantage exists in a point that the cross talk is reduced through a pump beam by that a  $\lambda_{P1}$  beam of a primary pump is propagated in opposite direction for a communication signal beam  $\lambda_S$  in the transmission line 12.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 27.09.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3712902  
[Date of registration] 26.08.2005  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-026267  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 24.12.2004  
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-214503

(P2000-214503A)

(43) 公開日 平成12年8月4日 (2000.8.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1
H 0 1 S 3/30		H 0 1 S 3/30	Z
H 0 4 B 10/17		H 0 4 B 9/00	J
10/16			E
H 0 4 J 14/00			

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-9590 (P2000-9590)

(22) 出願日 平成12年1月19日 (2000.1.19)

(31) 優先権主張番号 09/233318

(32) 優先日 平成11年1月19日 (1999.1.19)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596092698

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レーテッド

アメリカ合衆国, 07974-0636 ニュージ  
ャーシイ, マレイ ヒル, マウンテン ア  
ヴェニュー 600

(72) 発明者 アンドリュー ジョン ステンツ

アメリカ合衆国 08809 ニュージャーク  
シイ, クリントン, グースタウン ドライヴ  
9

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外11名)

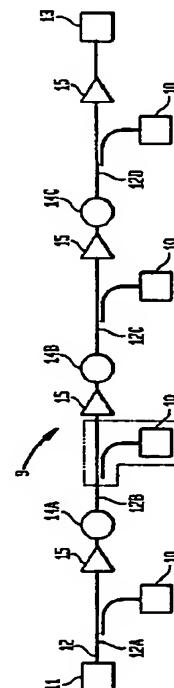
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高次ラマン増幅器を使用する光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、光ファイバ通信システムを提供する。

【解決手段】 光信号の光源と光ファイバ伝送路で構成される光ファイバ通信システムに、伝送信号を増幅するために光源の後段に1つまたは複数の高次分配ラマン効果増幅器を設けた。従来的一次ラマン効果増幅器を使用する通信システムと比較し、高次増幅器システムを使用するものでは低雑音、長いファイバスパン、および低非直線性が実現される。好適な実施形態では、システムは1530~1570nmの範囲の信号波長を使用し、一次ラマンポンプ光は1430~1475nm、二次ポンプ光は約1345nmである。その利点は、二次ポンプ光が信号光に対して前方向伝搬し、一次ポンプ光が信号光に対して逆方向伝搬している点にある。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 情報を搬送する光信号の光源と、光信号を搬送する光ファイバ伝送路と、光信号を増幅するための増幅器と、光信号を検波し、復調するレシーバとを備える光ファイバ通信システムにおいて、前記増幅器が、光信号を一次ラマン効果増幅する波長を持った一次ラマンポンプ光を光ファイバ伝送路内に入射する第一のポンプ光源と、一次ポンプ光を増幅する波長を持った二次ラマンポンプ光を光ファイバ伝送路内に入射する第二のポンプ光源とを備える高次ラマン効果増幅器を備えることを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、前記増幅器が前記光ファイバ伝送路に沿って分散される複数の高次ラマン効果増幅器を備える光ファイバシステム。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、一次ポンプ光が前記伝送路内で光信号に対して逆方向伝搬される光ファイバ通信システム。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、二次ポンプ光が前記伝送路内で一次ポンプ光に対して逆方向伝搬される光ファイバ通信システム。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、一次ポンプ光が光信号に対してストークス偏移の  $1/2 \sim 3/2$  離調され、二次ポンプ光が信号に対してストークス偏移の  $3/2 \sim 5/2$  離調される光ファイバ通信システム。

【請求項 6】 請求項 3 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、一次ポンプ光の出力が二次ポンプ光の出力の  $1/2$  以下である光ファイバ通信システム。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、二次ポンプの中心波長が一次ラマンポンプの中心波長よりも 1 ストークス偏移以上離れている光ファイバ通信システム。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、伝送路の高次ラマン効果増幅器の後段にエルビウムをドープしたファイバ増幅器を備える光ファイバ通信システム。

【請求項 9】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、さらに二次ポンプ光を増幅するための三次ラマンポンプ光を伝送路内に入射する第三のポンプ光源を備える光ファイバ通信システム。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の光ファイバ通信システムにおいて、

光信号と二次ポンプ光のいずれもが中心周波数を持ち、信号の中心周波数と二次ポンプ光の中心周波数との間の周波数偏移が  $26 \sim 32 \text{ THz}$  である光ファイバ通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信システムに関し、特に高次ラマン効果増幅器によって増幅された光通信システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術、及び、発明が解決しようとする課題】 光ファイバ通信システムは、情報の大量高速伝送という大きな潜在性を実現しつつある。本質的には光ファイバシステムは、情報を搬送する光信号と、光信号を搬送する光ファイバ伝送路と、光信号を検波し、その情報を復調するレシーバとを備える。通常、信号波長はシリカファイバ中を伝搬するのに適した範囲にあり、その範囲内で波長の異なる複数のチャネルを持つことが望ましい。

【0003】 光ファイバとは長距離にわたり、低損失で光信号を伝送することのできる組成をもった細いガラス線のことであり、これは第一の屈折係数を持つコア

(芯) を、第二の(低い) 屈折係数を持つ被覆で覆ったものである。許容臨界角に満たない角度でコアに当たる光線はファイバコア内で全内反射する。これらの光線は大きく減衰することなくファイバに沿って導かれる。一般に、ファイバは高純度のシリカからなり、コアには屈折係数を上げるためにゲルマニウムがドープされる。伝送路は信号チャネルを追加 (add)、または削除 (drop) するための中間ノードで隔てられた多数の長いセグメントで構成されることもある。

【0004】 光ファイバの減衰特性を低減するうえでは大きな進展がなされてきているが、その中を伝送される信号は吸収と散乱との蓄積的、複合的な影響により減衰する。したがって、長距離伝送においては定期的に増幅することが必要となる。

【0005】 光の増幅のやり方の一つにラマン効果を利用したものがある。ラマン効果では、媒体中を伝わる光はそれよりも波長の低いポンプ光が同じ媒体中を伝わることで増幅される。単色ポンプ光によってポンピングされたシリカファイバの利得スペクトルは 1972 年に初めて測定された。最大利得は信号がポンプ光の周波数よりも約  $13 \text{ THz}$  低いときに得られる。ポンプ光の周波数 (または波長) と最大利得の周波数 (または波長) との差は、一般的にストークス偏移と呼ばれ、増幅信号はストークス波と呼ばれる。信号から約 1 ストークス偏移分 (ストークス偏移の  $1/2$  から  $3/2$  の範囲) 離調されたポンプ光を使用することを一次ストークスポンピングと呼ぶ。

【0006】また、信号とポンプ光とを偏光を同じくした方が大幅に利得が高いことも知られている。この偏光感度は、ポンプを減極し、十分に速いタイムスケールにおいて偏光スクランブルすることによって、または偏光多重化された等出力を持った偏光ポンプ光2つを使用することによってなくすることができる。その例としてY. タムラ他による米国特許第4,805,977号「直接光増幅器用の光連結器」を参照。

【0007】分配一次ラマン効果増幅器を利用した信号増幅は、1986年10月14日にジョン・ダブリュ・ヒックス, Jr. に与えられた米国特許第4,616,898号の中に開示されている。ヒックス他のシステムは、伝送路に沿って複数の光ラマンポンプを間隔を置いて設けるものである。これらのポンプは光ファイバ中に1ストークス偏移短い信号波長を持ったポンプ光を挿入し、こうすることでポンプ光よりも波長の低い信号をポンプ光の存在によって一次ラマン効果の分だけ増幅するというものである。

【0008】一次ストークスポンピングにはいくつかの制約がある。弱い信号を増幅する際の強力なラマンポンプの出力は、伝送ファイバ中に光が伝搬するときには必ず距離に対して指数関数的に減衰する。つまり、いくらポンプの出力が強くても、増幅効果の大半はファイバ中にポンプ光を挿入した地点の比較的近くでしか得られないことになる(通常20km以内)。これは、ラマンポンプが誘起可能な信号対雑音比の改善を著しく制限するものである。ポンプの出力を増加するにつれ、信号のレイリー散乱によって信号対雑音比の改善が制限される。

【0009】システムのなかには、分散ラマン増幅器の後段にエルビウム増幅器を使用するものもある。エルビウム増幅器の入力側での信号出力の増大は、分散ラマン増幅がない場合に比べてエルビウム増幅器の雑音指数を高めてしまう。これはエルビウム/ラマン複合増幅器の雑音指数を増し、したがって信号対雑音比の改善が損なわれる。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、伝送信号を増幅するために、光信号の光源と光ファイバ伝送路を備える光ファイバ通信システムに、1つまたは複数の高次分散ラマン効果増幅器を光源の後段に設ける。従来の一次ラマン増幅器を使用した通信システムと比べ、高次増幅器システムでは低雑音、長いファイバスパン、および低非直線性が実現される。好適な実施形態では、このシステムは信号波長を1530~1570nmの範囲、一次ラマンポンピングを1430~1475nmの範囲、および二次ポンピングを約1345nmとする。この利点は二次ポンプ光が信号光に対して前方向伝搬し、一次ポンプが信号に対して逆方向伝搬する点にある。

【0011】本発明の利点、性質、および種々の他の特

徴は、添付の図面とともに詳しく説明する実施形態を通じてよりよく理解することができるだろう。

#### 【発明の実施の形態】

【0012】図表に関し、図1は、1つまたはそれ以上の分散高次ラマン増幅器10を使用する光ファイバ通信システム9の概略図である。通信システム9は情報を搬送する光信号の光源11と、信号を少なくとも一つの光レシーバ13に運ぶための光ファイバ伝送路12を備える。伝送路12は、複数のノード14A、14B・・・で相互接続される複数の光ファイバセグメント12A、12B・・・で構成することができる。一般的に、ノードにおいては信号チャネルを追加、または削除することができる。ラマン増幅器10の後段には、エルビウムをドープした増幅器などのような希土類ドープ増幅器15を設けることもできる。

【0013】光源11は変調レーザ、または発光ダイオードとすることができる。好適には、波長分割多重化(WDM)システムを実現するために波長の異なる複数の変調光信号が得られるレーザやダイオードのアレイとする。

【0014】伝送路12は通信ファイバの1つまたはそれ以上のセグメントで構成することができ、ノードはWDM技術を利用したシステムにおいて公知の各種の追加/削除(add/drop)ノードとすることができる。

【0015】伝送路12沿いに信号光源の後段には、伝送路12の長さ全体にわたり複数のラマン増幅器10が設けられる。増幅器10は連続するファイバセグメントの中間の端部に設けるのが望ましい。

【0016】図2は、1つまたはそれ以上のラマンポンプ光源20Aと、1つまたはそれ以上の二次ラマンポンプ光源20Bとで構成される、一般的な高次ラマン増幅器10を示したものである。光源は、一般には、連結器伝送路セグメント21のようなもので連結された半導体レーザである。これらはファイバ伝送路12のなかに波長分割多重化装置22によって連結される。この利点は、一次ポンプの $\lambda_{p1}$ 光は、伝送路12内で通信信号光 $\lambda_s$ に対して逆方向伝搬されることによって、ポンプ光を介した混信が低減される点にある。ポンプ光源20Aと20Bはラマン利得の偏光感度を最小限に留めるために、減極、偏光スクランブル、または偏光多重化されていることが望ましい。

【0017】高次増幅器10は一次および二次のストークス偏移ポンプ光の両方を伝送ファイバに挿入する。一次ラマンポンプ光 $\lambda_{p1}$ は、ストークス偏移の1/2から3/4離調され、二次ポンプ光 $\lambda_{p2}$ はストークス偏移の3/2から5/2離調される。二次ポンプ光は伝送ファイバ内で一次ポンプ光を増幅し、一次ポンプ光は通信信号を増幅する。

【0018】本発明の場合のように、一次および二次ポ

ンプ出力が同じ地点で挿入される場合、二次ポンプ光の減損が早まるのを防ぐために、一次ポンプ光の方が二次ポンプ光よりも入射出力が低い方が有利である。一次ポンプ光の出力は二次ポンプ光の半分以下であることが望ましい。図3A、図3Bおよび図3Cは、それぞれ、 $\lambda_{p2}=1366\text{ nm}$ 、 $\lambda_{p1}=1445\text{ nm}$ 、 $\lambda_s=1555\text{ nm}$ であるときの距離に対する出力を示したものである。各グラフは次の場合を示したものである：(a) 一次ポンプ光のみの場合、(b) 一次および二次ポンプ光の入射出力が等しい場合、および(c) 一次ポンプ光に出力10mW、残りの出力が二次ポンプ光に与えられる場合である。一次ポンプ光は伝送ファイバ内でかなり遠距離（ベール距離相当）にて最大出力に達することに留意されたい。

【0019】本発明は下記の具体例を考えることでよりよく理解することができる。

#### 例1

光ファイバ通信システムでは、一次ポンプ光は1430～1475nmの波長を持ち、偏光多重化ダイオードのセットによって発生される。この波長範囲での総出力は100mW未満である。二次ポンプは約1345nmで、出力は400mWである。一次および二次ポンプは波長分割多重され、信号の伝搬とは逆の方向に伝送ファイバ内に挿入される。信号波長は1530～1570nmの範囲である。伝送ファイバは、有効断面積約55 $\mu$ m<sup>2</sup>の長さ80kmの非ゼロ分散シフトファイバからなる。

【0020】信号波長が受ける利得を伝送中にさらに遠距離に押し出すことで、二次ラマンポンプが発生する等価雑音指数を一次ラマンポンプのそれよりも低くすることができる。その効果は図4A、図4Bおよび図4Cに示す。図4Aは(a) 一次ポンプ光のみの場合、(b) 一次および二次ポンプ光の入射出力が等しい場合、および(c) 一次ポンプ光に出力10mW、残りの出力が二次ポンプ光に与えられた場合の総出力に対する利得を示すグラフである。図4Bは、それぞれ同じ場合における総出力に対する等価雑音指数であり、図4Cは利得に対する雑音指数を示したものである。等価利得に対し、二次ポンピングの場合は必ず等価雑音指数が低く、ポンプ出力の等価雑音指数が等しいとき、二次ポンピングの場合の等価利得が低い。これらの条件下では、エルビウム増幅器の入力に達する信号出力は二次ラマンポンプを使用した方が、一次ラマンポンプを使用した場合と比べて低く、分散ラマン増幅が加わることによるエルビウム増幅器の雑音指数の増大が抑えられる。

【0021】二次ラマンポンプの中心波長を一次ラマンポンプの中心波長よりも1ストークス偏移大きく設定することで、一次ポンプの長い波長を短い波長が増幅する際に誘起される利得傾斜を補償するのに二次ポンプを利用することができる。この効果は図5に示す。各ポンプ内の出力の波長分布は、図6に示すような幅の広い、平

坦な信号利得を発生するように形作ることができる。

【0022】図7は、別の高次ラマン増幅構成を示したもので、一次および二次ポンプの光源20Aと20Bが伝送路12に沿って間隔を置いて設置され、ポンプが伝送路12に沿って逆方向に伝搬しているものである。ここでは一次ラマンポンプ光源20Aからの光は伝送路12中に、通信信号に対して逆方向伝搬する方向に挿入され、二次ラマンポンプ光源20Bからの光は信号に対して前方向伝搬する方向に挿入される。

【0023】図7の構成の利点は、信号と二次ポンプ光との周波数に大きな差があることから、信号は前方向伝搬する二次ラマンポンプからはわずかなラマン利得しか得られないという点である。したがって、二次ポンプから信号に移送される雑音は極わずかである。それでもなお、逆方向伝搬する一次ポンプは、伝送スパンの最初部分において二次ポンプによって大きく増幅される。このジオメトリを利用することで、伝送スパン全体において信号に対して大きなラマン利得を実現し、ひいては信号の出力エクスカージョンを最低限に抑えることができる。信号の出力エクスカージョンを最低限に抑えることで、光の非直線性によるシステム障害を減らすことができる。二次ポンプから通信信号への雑音の移送を最小限に抑えるため、信号の中心周波数と二次ポンプの中心周波数との周波数偏移は26～32THzの範囲内であればならない。

【0024】この実施形態は、下記の具体例を通じてよりよく理解することができる。

#### 例2

通信システムにおいては、一次ポンプ光は偏光多重化ダイオードの組が発生する1430～1475nmの範囲の波長を持つ。この波長範囲内の総出力は約300mWである。二次ポンプ光は約1345nmで出力は400mWである。一次ポンプ光は信号に対して逆方向伝搬する方向で伝送ファイバ内に挿入される。二次ポンプ光は信号に対して前方向伝搬する方向で伝送ファイバ内に挿入される。信号波長は1530～1570nmの範囲内である。伝送ファイバは、有効断面積約55 $\mu$ m<sup>2</sup>の長さ40kmの非ゼロ分散シフトファイバからなる。

【0025】図8は、例2のシステムを使用したときの通信信号出力の変化を示すグラフである。

【0026】図9は、他の実施形態を示したもので、ここでは高次ラマンポンプをさらに一歩発展させ、一次、二次、および三次（それぞれ20A、20B、20C）ポンプ光が伝送ファイバに挿入される。一次および二次ポンプが三次ポンプよりも出力が低い場合、信号が受けるラマン利得のピーク位置は伝送系のさらに遠距離に押し出され、通信対雑音指数がさらに改善される。1550nmに近い信号を使用する通常の通信システムにおいては、一次、二次、三次ポンプの中心波長は約 $\lambda_{p1}=1450$ 、 $\lambda_{p2}=1360$ 、 $\lambda_{p3}=1290\text{ nm}$ である。

1450nmに近いポンプの帯域が大きい場合、1450nm近辺の短い波長スペクトルによる1450nm近辺の長い波長スペクトルの増幅を、二次と三次ストークスポンプ光を短い波長に偏移することで補償することができるという利点がある。例えば、一次、二次、三次ポンプを1430~1475nm、1345nm、および1270nmとすることができる。これよりも高次のラマンポンプも可能だが、短い波長における標準伝送ファイバの損失の増加によって制限される。

【0027】上に解説した実施形態は、本発明の原理の応用例となる数多くの実施形態のうち、そのわずかなものを詳説したに過ぎないことを理解する必要がある。この分野に精通した者であれば、本発明の精神および範囲を逸脱することなく、これ以外にも種々様々な装置を容易に作り上げることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】高次ラマン増幅器を使用する光ファイバ通信システムの概略図である。

【図2】典型的な高次ラマン増幅器を示す。

【図3A】3種類の異なるラマン増幅構成における通信信号出力の変化を示すグラフである。

【図3B】3種類の異なるラマン増幅構成における通信

信号出力の変化を示すグラフである。

【図3C】3種類の異なるラマン増幅構成における通信信号出力の変化を示すグラフである。

【図4A】図3にグラフ化した3つの異なる構成の等価利得および等価雑音指数を示すグラフである。

【図4B】図3にグラフ化した3つの異なる構成の等価利得および等価雑音指数を示すグラフである。

【図4C】図3にグラフ化した3つの異なる構成の等価利得および等価雑音指数を示すグラフである。

【図5】二次ラマンポンプの中心波長を偏移させることで利得傾斜を補償することができる様子を示す定性スペクトル図表である。

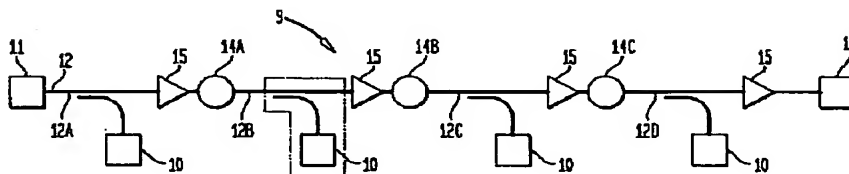
【図6】出力のスペクトル分布を変化させることで信号利得を平坦にすることができる様子を示す定性図表である。

【図7】高次ラマン増幅器の他の実施形態を示す。

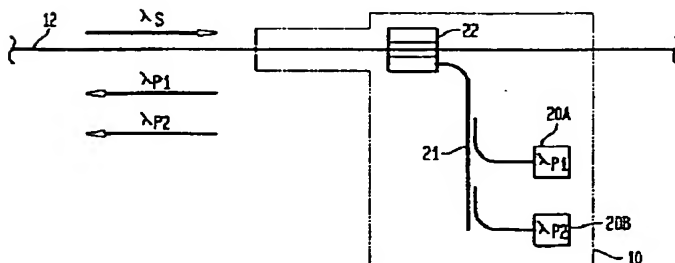
【図8】図7の増幅器を使用したときの通信信号出力の変化を示すグラフである。

【図9】別のラマン増幅器を示す。これらの図面は、本発明のコンセプトを説明するためのものであって、本発明を図示しているが、定性グラフを除き正確な縮尺でないことを理解されたい。

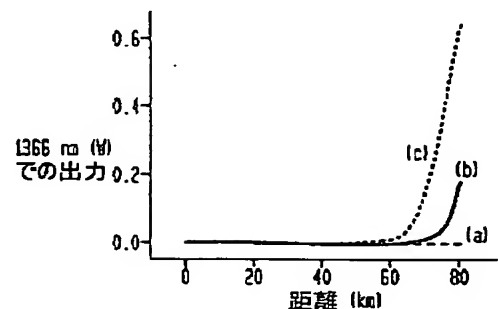
【図1】



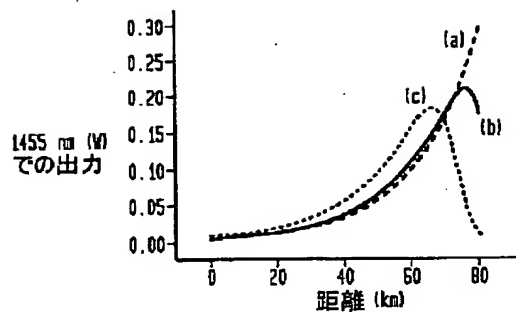
【図2】



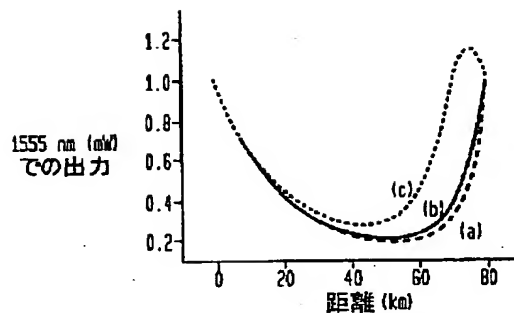
【図3A】



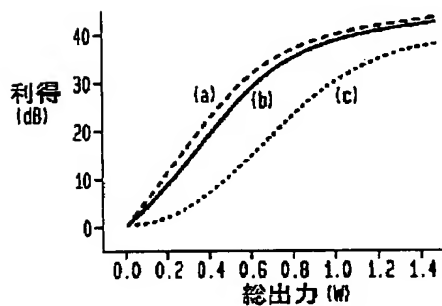
【図3B】



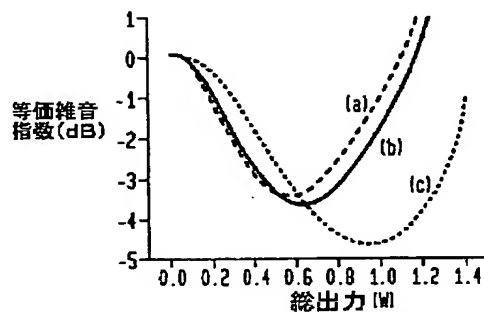
【図3C】



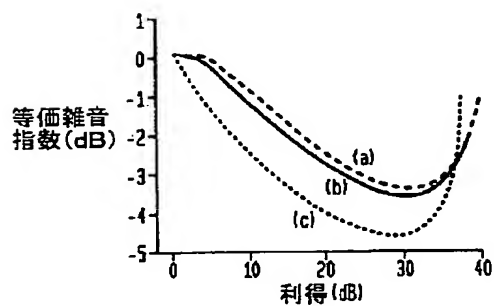
【図4A】



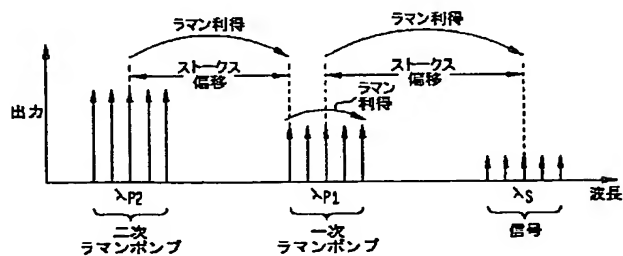
【図4B】



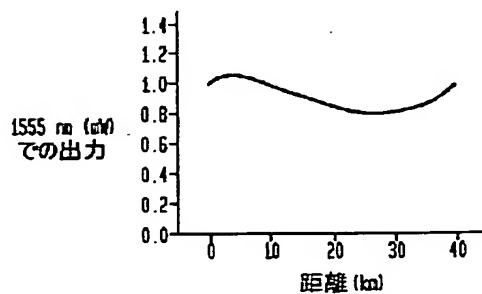
【図4C】



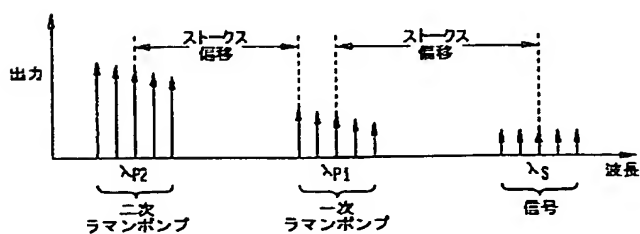
【図5】



【図8】

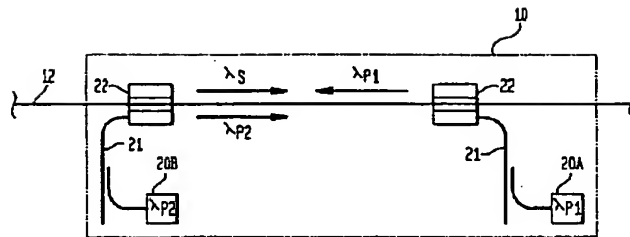


【図6】

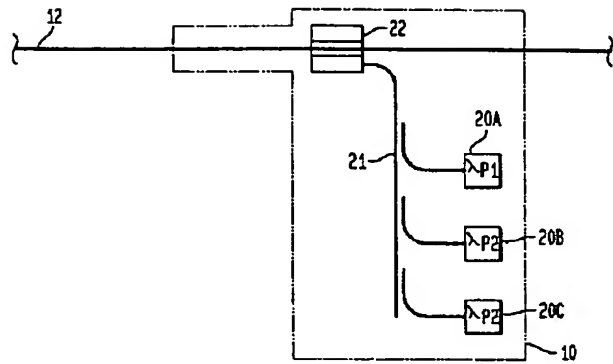




【図 7】



【図 9】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

ターマコード (参考)

H 0 4 J 14/02

(72) 発明者 ケネス リー ウォーカー  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージー  
イ, ニュープロヴィデンス, セントラル  
アヴェニュー 1003